

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской  
программы

Н.В. Белоусова

\_\_\_\_\_

подпись

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**в форме магистерской диссертации**

**Улучшение технико-экономических показателей  
электролиза путем изменения конструкции блюмсов**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель

канд. тех. наук, доцент,  
Рюмин А.И.

Выпускник

Пшеничников А.В.

Рецензент

Директор департамента ДТиТР АО  
«РУСАЛ Саяногорск»  
Анисиферов А.Н.

Консультанты:

канд. экон. наук, доцент,  
Твердохлебова Т.В.

Нормоконтролер

Белоусова Н.В.

Красноярск 2021

## **Аннотация**

Выпускная квалификационная работа по теме «Улучшение технико-экономических показателей электролиза путем изменения конструкции блюмсов» содержит 73 страниц текстового документа, 58 рисунков, 11 таблиц, 8 формул, 52 использованных источников.

Целью данной работы является поиск решений по модернизации конструкции блюмса, а также снижение падения напряжения в блюмсах, снижение МГД нестабильности.

Объектом изучения является катодное устройство электролизера, применяемые на территории промплощадки АО «РУСАЛ-Саяногорск», а также аналоги.

В результате проведенных исследований в области модернизации катодного устройства был получен положительный результат по снижению энергетических затрат при производстве алюминия, снижению МГД нестабильности, и, как следствие, увеличению времени эксплуатации электролизеров с помощью изменения конструкции блюмса

**МОДЕРНИЗАЦИЯ КАТОДНОГО УСТРОЙСТВА, МЕДНЫЙ БЛЮМС,  
КАТОДНОЕ ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, МГД.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. Конструкция катодов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Катодное устройство .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Катодные кожухи .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Угольная подина .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Бортовые блоки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. Измерение падения напряжения .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Расчет падения напряжения .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3. Использование сталемедного блюмса .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Анализ конструкции цилиндрических медных блюмсов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Сравнение конструкции цилиндрической и прямоугольной медной вставки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Влияние медных вставок .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4. Использование цельно медных блюмсов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5. Использование спаренных мульти-блюмсов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6. Минимизация падения напряжения на катоде за счет оптимизации конструкции катодных пазов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1 Оптимизация конструкции катода .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7. Анализ динамики цены и себестоимости алюминия .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	4

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Халиков, А. Адаптивный алгоритм управления температурным режимом процесса электролиза алюминия / А. Халиков // Известия академии наук республики Таджикистан отделение физико-математических, химических и геологических наук. – 2006. – №3-4. – С. 31–34.
2. Segatz, M. Hydro's cell technology path towards specific energy consumption below 12 kWh/kg / M. Segatz // Light Metals. – 2016. – PP. 301–305.
3. Thibeault, P. Rio Tinto Alcan AP4X low energy cell development / P. Thibeault // Light Metals. – 2013. – PP. 543–547.
4. Zhou, D. Chinalco 600 kA high capacity low energy consumption reduction cell development / D. Zhou // Light Metals. – 2015. – PP. 483–487.
5. Blais, M. Energy savings in aluminum electrolysis cells: Effect of the cathode design / M. Blais // Light Metals. – 2013. – PP. 627–631.
6. Dupuis, M. Development and application of an ANSYS based thermo-electro-mechanical collector bar slot design tool / M. Dupuis // Light Metals. – 2011. – PP. 519–524.
7. Gagnon, M. Optimization of the cathode collector bar with a copper insert using finite element method / M. Gagnon // Light Metals. – 2013. – PP. 621–626.
8. Гамаюнов И.Г. Снижение энергозатрат при электролитическом производстве алюминия за счет применения хромуглеродсодержащих покрытий блюмсов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / Гамаюнов Иван Геннадьевич. – Иркутск, 2011 – 21 с.
9. Electromagnetic and MHD study to improve cell performance of an end-to-end 86 kA potline / A. Gupta, [et al.] // Light Metals. – 2012. – PP. 853 – 858.

10. Simulation and Optimization of Cathode Current Distribution to Reduce the Horizontal Current in the Aluminum Liquid / W. Li, [et al.] // Light Metals. – 2014. – PP. 495 – 499.
11. Beeler, R. Bar to block contact resistance in aluminum reduction cell cathode assemblies / R. Beeler // Light Metals. – 2014. – PP. 507 – 511.
12. M. Blais. Energy savings in aluminium electrolysis cells: effect of the cathode / M. Blais, M. Désilets, M. Lacroix // Light Metals. – 2013. – PP. 627–631.
13. Cathode Structure Optimization Research for Aluminum Reduction Cell / Y. Ban, [et al.] // Light Metals. – 2018. – PP. 213 – 218.
14. Copper Insert Collector Bar for Energy Reduction in 360 KA Smelter / Amit Jha, [et al.] // Light Metals. – 2019. – PP. 565 – 572.
15. Allard, B. Evolution of thermal, electrical and mechanical properties of graphitized cathode blocks for aluminum electrolysis cells with temperature / B. Allard // Light Metals. – 2000. – PP. 515–521.
16. Finite Element Analysis of a Cylindrical Cathode Collector Bars Design / O. Lacroix, [et al.] // Light Metals. – 2019. – PP. 637 – 644.
17. Optimization of the cathode collector bar with a copper insert using finite element method / M. Gagnon, [et al.] // Light Metals. – 2013. – PP. 621 – 626.
18. Kaenel, R. Modelling of energy savings by using cathode design and inserts / R. von Kaenel, J. Antille // Light Metals. – 2011. – PP. 569 – 574.
19. Bojarevics, V. Comparison of MHD models for aluminum reduction cells / V. Bojarevics, K. Pericleous // Light Metals. – 2006. – PP. 347-352.
20. Bojarevics, V. Effect of cathode collector copper inserts on the hall-héroult cell MHD stability / V. Bojarevics // Light Metals. – 2016. – PP. 933 – 938.
21. Bojarevics, V. Mathematical modelling of Hall-Héroult pot instability and verification by measurements of anode current distribution / V. Bojarevics, J.W. Evans // Light Metals. – 2015. – PP. 783-788.

22. Beeler, R. An analytical model for cathode voltage drop in aluminum reduction cells / R. Beeler // *Light Metals*. – 2003. – PP. 241-245.
23. United States Patent 3,551,319, 1968, Ser. No. 757,844. Current collector / C. Elliot. Waveland, Kaiser Aluminium & Chemical Corporation, Oakland, Filed Sept. 6, 1970.
24. United States Patent 4795540A. Slotted cathode collector bar for electrolyte reduction cell / D. W. Townsend. Comalco Aluminum, Ltd., 1989.
25. Kaenel, R. Impact of Copper Inserts in Collector Bears / R. Kaenel, J. Antille, L. Bugnion // *Light Metals*. – 2014. – PP. 234-240.
26. Copper bars for the hall-héroult process / R. Kaenel, [et al.] // *Light Metals*. – 2016. – PP. 903 – 908.
27. An approach for estimation of Cathode voltage drop in an aluminum reduction cell with an inclined carbon block and a copper insert / R. Singh, [et al.] // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2016. – PP. 1–10.
28. Wang Q. Simulation of Magnetohydrodynamic Multiphase Flow Phenomena and Interface Fluctuation in Aluminum Electrolytic Cell with Innovative Cathode / Q. Wang, B. Li, Z. He // *Metallurgical & Materials Transactions*. – 2014. – PP. 272–294.
29. Kacprzak D. A. Finite element analysis of busbars and magnetic field of an aluminum reduction cell / D Kacprzak, M.J. Gustafsson, M.P. Taylor // *IEEE transactions on magnetics*. – 2006. – PP. 3192– 3194.
30. Mao L.I. Numerical simulation of busbar configuration in large aluminum electrolysis cell / L.I. Mao, J. M. Zhou // *Journal of Central South University*. – 2008. – PP. – 271–275.
31. Effect of Steel Multi-collector Bars on Current Density and Magnetohydrodynamic Stability in an Aluminum Reduction Cell / M. Sun [et al.] // *Light Metals*. – 2018. – PP. 565–571.
32. Das S. Cathode characterization with steel and copper collector bars in an electrolytic cell / S. Das, Y. Morsi, G. Brooks // *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*. – 2014. – PP. – 235–244.

33. Qianghua, W. Discussion of current levels of aluminum reduction cells / W. Qianghua // *Gansu Metallurgy*. – 2010. – PP. 654–660.
34. Zarouni, A. Dubal low energy aluminium electrolysis cell design and operation / A. Zarouni, M. Reverdy // *ALUM*. – 2014. – PP. 26–27.
35. Zhou, D. Chinalco 600 kA high capacity low energy consumption reduction cell development / D. Zhou // *Light Metals*. – 2015. – PP. 483–487.
36. Keniry, J.T. Threats & opportunities for aluminum smelting in a carbon priced world / J.T. Keniry // in *Proceedings of the 10th Australasian Aluminum Smelting Technology Conference, Lanceston, Australia*. – 2011.
37. Kovács, V. Comparative analysis of the environmental impacts of aluminum smelting technologies / V. Kovács, L. Kiss // *Light Metals*. – 2015. – PP. 529–534.
38. Sørliie, M. Cathode collector bar-to-carbon contact resistance / M. Sørliie, H. Gran // *Light Metals*. – 1992. – PP. 780–787.
39. Hiltmann, F. Influence of temperature and contact pressure between cast iron and cathode carbon on contact resistance / F. Hiltmann // *Light Metals*. – 1996. – PP. 277–283.
40. Emami, M. Development of a new methodology to measure contact pressure along a thermo-electro-mechanical interface / M. Emami // *Light Metals*. – 2014. – PP. 1281–1284.
41. Letizia, I. How to improve the pig iron sealing of metallic bars in cathode carbon blocks / I. Letizia // *Light Metals*. – 1985. – PP. 1025–1036.
42. Larsen, B. Stress analysis of cathode bottom blocks / B. Larsen, M. Sørliie // *Light Metals*. – 1989. – PP. 641–646.
43. Caruso, L. Experimental comparison of cathode rodding practices / L. Caruso // *Light Metals*. – 2007. – PP. 827–831.
44. Wilkening, S. Problems of the stub-anode connection / S. Wilkening, J. Côté // *Light Metals*. – 2007. – PP. 865–873.
45. M. Sørliie, H.A. Øye. *Cathodes in aluminum electrolysis*. Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, Düsseldorf, 2010. – PP. 856 – 861.

46. Haupin, W.E. Cathode voltage loss in aluminum smelting cells / W.E. Haupin // Light Metals. – 1975. – PP. 339–349.
47. Zolochovsky, A. Test for cathode carbon materials swelling with external pressure and effect of creep / A. Zolochovsky // Carbon. – 2005. – PP. 1222–1230.
48. Friedrich, R. Minimizing cathode voltage drop by optimizing cathode slot design / R. Friedrich, [et al] // Light Metals. – 2017. – PP. 705 – 711.
49. Shuai, Y. Aluminum channel bars Heightened levels of liquid aluminum cathode current for optimal / Y. Shuai, L. Jie, X. Yujie // Chinese Journal of Nonferrous Metals. – 2012. – PP. 417–426.
50. Yungang, B. Study on cathode structure optimization of aluminum reduction cell / B. Yungang, M. Yu, M. Jihong // Light Metals. – 2014. – PP. 1333–1337.
51. Ban, Y. Cathode structure optimization research for aluminum reduction cell / Y. Ban, J. Liu, J. Mao // Light Metals. – 2018. – PP. 1345–1352.
52. London Metal Exchange [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Aluminium>. – Дата доступа: 25.06.2021.



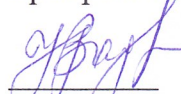
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской  
программы

  
подпись

Н.В., Белоусова

« 21 » 06 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**в форме магистерской диссертации**


**Улучшение технико-экономических показателей электролиза путем  
изменения конструкции блюмсов**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель

доцент каф. металлургии цветных металлов,  
канд. техн. наук,  
Рюмин А.И.

Выпускник

 17.06.2021

Пшеничников А.В.

Рецензент

 18.06.2021


Директор департамента ДТиТР АП АО  
"РУСАЛ Саяногорск",  
Анисиферов А.Н.

Консультанты:

 20.06.21

канд. экон. наук, доцент,  
Твердохлебова Т.В.

Нормоконтролер

 21.06.21

Белоусова Н.В.

Красноярск 2021